

NECESIDADES DE FORMACIÓN DEL PROFESORADO EN FUNCIÓN DE LAS FINALIDADES DE LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

NEUS SANMARTÍ*

Resumen

En este artículo se reflexiona sobre la necesidad de replantear la formación del profesorado de ciencias sobre la base del análisis de los cambios en las finalidades de su enseñanza que se han ido dibujando en el último tercio del siglo XX. El análisis conlleva reconocer que nos encontramos ante unos nuevos problemas de cuya investigación se ocupa la Didáctica de las Ciencias, y que es necesario revisar a fondo tanto los contenidos como la metodología utilizada en la formación inicial y permanente de los profesionales.

Abstract

This article describes the need of changing the pre-service development of teachers. Science education has new trends and issues that require the analysis of contents and methodologies in pre-service and in-service teachers' training. The development of educational goals during the last 20th century is examined.

Introducción

Uno de los campos de investigación de la Didáctica de las Ciencias es el relacionado con la formación del profesorado. Hay un consenso generalizado en que la formación inicial actual no responde a las nuevas necesidades que genera el ejercicio de la profesión y que la formación permanente tiene poca influencia en el cambio de las prácticas en el aula. Se invierte mucho dinero y aunque es poco en relación a las necesidades, en general no es rentable.

* Doctora en Ciencias Químicas. Profesora de Didáctica de las Ciencias Experimentales en la Universidad Autónoma de Barcelona (España).

A pesar de que la profesión de enseñar ciencias cuenta con una larga tradición, en los momentos actuales se puede considerar como nueva, ya que el contexto social de los estudiantes y las finalidades de la enseñanza han cambiado radicalmente. La necesidad de que toda la población posea un mayor conocimiento científico se fundamenta en razones económicas y de democratización social y cultural, por lo que actualmente el reto es enseñar ciencias a alumnos que no quieren aprender o tienen dificultades para hacerlo.

Todo ello conlleva que la formación tradicional de los profesores no es suficiente para responder a las nuevas demandas. Dicha formación está basada fundamentalmente en el conocimiento de unos saberes disciplinares poco relacionados con el estudio de los fenómenos cotidianos y aprendidos sobre la base de metodologías que son válidas sólo para aquellos alumnos con actitudes y aptitudes hacia el estudio muy determinadas, y necesita cambios muy profundos. Además, las licenciaturas acostumbra a ser muy especializadas, con pocos saberes interdisciplinares, y tampoco están bien consensuados los conocimientos propios del campo de las ciencias de la educación, que un enseñante necesita, ni el peso que deberían tener en su formación. Y aunque nadie pone en duda la necesidad de unas buenas prácticas profesionales, no hay duda de que es difícil encontrar centros escolares –sí que se encuentran muy buenos enseñantes dispersos– que posibiliten vivir modelos profesionales estimulantes. Todos estos condicionamientos comportan que diseñar una formación eficaz no sea fácil.

En este artículo analizaremos hacia dónde deberían orientarse los cambios en los modelos de formación, teniendo en cuenta las nuevas finalidades de la enseñanza de las ciencias.

La profesión de enseñar ciencias

Los alumnos se inician en el conocimiento de las ciencias en la escuela primaria y poco a poco van introduciéndose en su mundo, primero con la ayuda de los maestros o maestras generalistas y luego de los especializados en física, química o biología. El ejercicio de la

profesión tiene pues como objetivo promover en los estudiantes la construcción de las ideas y formas de mirar los fenómenos que se han ido construyendo a lo largo de la historia de la ciencia, y es a través de la enseñanza que se consigue que se vayan enamorando de ella o empiecen a aborrecerla.

Distintos estudios muestran que, con la edad, los alumnos dejan de interesarse por el estudio de la ciencia, no encuentran sentido a lo que se les enseña, les parece difícil y fracasan en el propósito de ser capaces de explicar lo que sucede a su alrededor. Para algunos el problema está en el propio alumno (no está motivado, no se esfuerza) o en su contexto social y familiar (no es estimulante o no transmite la idea de que vale la pena estudiar). Para otros, sin dejar de estar de acuerdo con las anteriores afirmaciones, valoran que la escuela y el profesorado han cambiado muy poco sus prácticas, mientras que la ciencia y las finalidades de su enseñanza son muy distintas de las de hace algunos años.

En el contexto actual no se puede pensar que la motivación para aprender provendrá de las familias o del ambiente social, por lo que el profesorado se encuentra bastante solo en la tarea de ayudar a aprender a las nuevas generaciones de jóvenes. Los estudiantes se motivan cuando aprenden, pero como aprender a ‘jugar el juego’ de la ciencia no es fácil, muchos no llegan a ser capaces de disfrutar con su estudio. Y si los alumnos no aprenden, el profesorado también se desmotiva, generando un círculo que sólo un buen profesional puede ayudar a romper.

Los conocimientos de ciencias se caracterizan por aprender a interrelacionar tres mundos:

- El de los hechos, la manipulación y la experimentación, es decir, un mundo formado por miles de fenómenos que se pueden observar y en los que es necesario reconocer lo que tienen en común y sus ‘reglas’ de funcionamiento.
- El de los modelos imaginados, es decir, el mundo teórico que posibilita explicar los fenómenos, las similitudes y diferencias, las regularidades...

- El de las formas de hablar y de la simbología que utilizamos por comunicarnos y que no está formado sólo por las nuevas palabras y fórmulas, sino por todo tipo de representaciones, entre ellas, las generadas por ordenador.

Entrar en estos tres mundos de forma coherente e interrelacionada (‘jugar el juego’) es costoso. De la misma forma que disfrutar jugando a voleibol o a tenis requiere superar unas etapas desanimadoras en las que las pelotas no llegan ni a la red, aprender ciencias requiere superar fases de aprendizaje en las que no se sabe ni cómo mirar, ni cómo explicar, ni cómo hablar sobre los fenómenos. Y el profesorado ha de actuar como un entrenador, cuya función no es sólo ayudar al aprendizaje de unos contenidos, sino también conseguir que los jugadores no se desanimen en los primeros pasos.

Para poder dar respuesta a las necesidades que van surgiendo en un grupo-clase con alumnos muy diversos en actitudes y aptitudes y, al mismo tiempo, enseñar una ciencia útil en la sociedad actual, requiere una formación muy distinta a la que se imparte actualmente. Entre otras variables, se ha de partir del hecho de que no existen reglas, porque, tal como indican Joshua y Dupin (1993), las *leyes de la didáctica* que se puedan enunciar se refieren más a las cosas que no pueden suceder (constricciones) que a cómo deberían suceder (prescripciones). Por ello, la formación de los profesores debería orientarse mucho más hacia el desarrollo de su autonomía en la toma de decisiones y de la capacidad de innovar (Baird *et al.*, 1991; Lederman *et al.*, 1994; García y Angulo, 1996; Hugo y Sanmartí, en prensa).

El profesorado que ha de enseñar ciencias en el momento actual necesita disponer de criterios fundamentados en referentes teóricos y prácticos que le permitan tomar decisiones que no sean producto del azar, y de prácticas totalmente empiristas o reproductivas. Y enseñados con buenos ejemplos, ya que no hay que olvidar que se aprende a partir de ellos.

Problemas de los modelos de formación aplicados

Actualmente la mayoría de los modelos de formación se caracterizan por una separación entre la formación ‘en contenidos científicos’ y formación en ‘contenidos didácticos’ (y todos estos contenidos separados de la práctica). Implícitamente se cree que si una persona ‘sabe’ de la materia y conoce teorías generales sobre cómo enseñar, sabrá aplicarlas a la enseñanza de cada contenido. Pero todas las investigaciones actuales demuestran que esta concepción no es cierta (Hewson *et al.*, 1999). Las razones son de muchos tipos:

- No hay un ‘cómo enseñar’ independiente del contenido. Cada concepto y modelo teórico tiene unas características y dificultades determinadas, genera concepciones alternativas específicas en el alumnado cuya lógica es necesario comprender para enseñar significativamente, requiere una selección y reelaboración del contenido de los expertos adecuado a cada edad y contexto educativo (una ‘transposición didáctica’ en palabras de Chevalard, 1995), necesita del diseño de experimentos y actividades de enseñanza-aprendizaje adecuadas, etc. De todo ello se ocupa la investigación en el campo de la Didáctica de las Ciencias y es difícil que una persona pueda ser capaz de enseñar significativamente sin tener los conocimientos que se han generado a través de ella.
- Para enseñar ciencias se ha de partir de las preguntas que pueden tener sentido para la mayoría del alumnado y sean relevantes socialmente. Pero normalmente no es fácil aplicar los conocimientos aprendidos en la mayoría de las licenciaturas actuales, muy abstractos y mecanicistas, a la interpretación de los fenómenos que observamos en la cocina, a la naturaleza, en nuestro cuerpo... y, por tanto, es normal que se acabe reproduciendo lo que siempre se ha explicado, que es un conocimiento fosilizado.
- Los métodos de enseñanza aplicados por los profesores tienden a reproducir los que vivieron en su etapa de estudiantes. No hay que olvidar que todos han sido alumnos durante muchos años de

su vida, tienen su propia experiencia y han construido puntos de vista acerca de qué es la ciencia y qué es un buen profesional cuya misión es enseñarla. Estos puntos de vista a menudo conllevan pensar que lo que ha sido bueno para ellos en su aprendizaje es bueno para todo tipo de alumnos. Además están acompañados de numerosas rutinas de las que se tiene muy poca conciencia. Consecuentemente, la formación no debe incidir sólo en promover el aprendizaje de contenidos propios de la profesión sino que también, y muy especialmente, debe promover la toma de conciencia y el cambio de las ideas y de las prácticas implícitas.

- Por ello en la formación de los profesores influye más la manera como se les enseña que lo que se dice sobre la forma de enseñar. Las metodologías aplicadas en las clases de Química, Física, Biología y Didáctica habrían de ser ejemplares, no sólo en relación a los contenidos tratados, sino también y muy especialmente en relación a *cómo* se enseñan. Si han aprendido una química memorística, se enseñará una química memorística. Si las teorías didácticas innovadoras y activas se enseñan por medio de discursos magistrales, los futuros profesores tenderán a enseñar también con discursos magistrales en lugar de aplicar las teorías innovadores.
- Aun suponiendo que la formación de los profesores haya sido la más idónea posible, es en el ejercicio de la profesión, a partir de la imitación de prácticas observadas en compañeros, cuando realmente se concreta el saber profesional propio. Todas las enseñanzas recibidas pueden quedar olvidadas fácilmente si el *habitus* o las *formas de hacer* más o menos implícitas propias de la escuela donde se trabaja no se corresponden con lo aprendido. Es frecuente que, enfrentados al problema complejo de enseñar a adolescentes, los profesores noveles aprendan rápidamente las soluciones tradicionales, y una vez se han adquirido unas rutinas que dan seguridad es difícil cambiarlas. Y también en el caso de la formación permanente, sin un grupo que apoye la innovación es difícil que los primeros intentos se lleguen a consolidar.

Para responder a todos estos condicionantes, la investigación actual en formación del profesorado de ciencias concluye que ésta ha de reunir tres condiciones fundamentales (Gunstone, 2000; Sanmartí, 2001):

- *Relación teoría-práctica.* No se puede desvincular la formación en conocimientos teóricos, tanto en contenidos científicos como pedagógicos, de la formación en el ‘saber hacer’ en las aulas reales (Mellado y González, 2000). En el momento en que el estudiante haga la opción de profesionalizarse es necesario que vivencie experiencias de enseñar innovadoras y que reflexione sobre ellas en función de los conocimientos generados a través de la investigación en el campo de la Didáctica de las Ciencias. Y de la misma forma, para cambiar prácticas de los profesionales en ejercicio es necesario partir del análisis de dichas prácticas y de otras, alternativas y fundamentadas teóricamente.
- *Interrelación entre el aprendizaje de contenidos de ciencias y de contenidos didácticos.* En la formación inicial, las diferentes asignaturas del currículo, tanto las más relacionadas con la reflexión sobre los contenidos a enseñar y las dificultades y recursos por enseñarlos, como aquellas que incluyen conocimientos sobre las características de los adolescentes y de sus condicionamientos sociales, del sistema escolar o de otros, han de tener objetivos compartidos que ayuden el futuro profesor a integrarlos en su práctica (Porlán y Rivero, 1998). Actualmente hay bastante consenso en que la disciplina nuclear es la Didáctica de las Ciencias, ya que de hecho es un campo de saber interdisciplinar y sus especialistas reúnen (o deberían reunir) la triple condición de pertenecer al área de ciencias, haber ejercido como profesores y realizar investigación en este campo de conocimiento. Pero eso no quiere decir que no sea necesario y posible que se impliquen otros profesionales en un proyecto común.

La formación permanente tampoco se puede plantear desvinculando el qué enseñar del cómo, y ha de tener siempre en cuenta los problemas reales del aula: el número y diversidad del

alumnado, su falta de interés, los obstáculos que han de superar para aprender, los recursos de que se dispone, etc.

- *Concebir la formación del profesorado como un proceso de cambio de las ideas y prácticas* aprendidas a través de años de ser alumno, es decir, de autorreflexión y de autorregulación. Los profesores han de poner en cuestión su pensamiento sobre qué es la ciencia y sus contenidos, sobre cómo aprenden mejor los alumnos y sobre cómo enseñar (Gunstone y Northfield, 1994; Sanmartí, 2000; Copello y Sanmartí, 2001; Angulo, 2002; Lucio, 2002). No se trata de dar recetas que no existen, sino de tomar conciencia del porqué de la no idoneidad de muchas de las que se tienen interiorizadas.

No hay que olvidar que el contexto social de la escuela cambia más rápidamente que la formación que recibe el profesorado para dar respuesta a las nuevas necesidades generadas. De la misma forma que, actualmente, no tiene sentido enseñar ciencias con la finalidad de que los alumnos sepan reproducir mecánicamente informaciones que se pueden encontrar en libros o en internet, tampoco tiene sentido formar profesores para que sepan aplicar recetas. Una formación de profesores de ciencias relevante será aquella que promueva un cambio en las formas de pensar y de actuar rutinarias y que, además, sea suficientemente significativa como para posibilitar que continúen formándose e innovando, sin ser asimilados por el sistema.

Estos cambios se refieren a tres campos principales:

- En el *qué enseñar*, es decir, en la visión de lo que se entiende por ciencia, en las finalidades de su enseñanza y en los criterios de selección de los contenidos.
- En el *cómo aprenden los alumnos* o las concepciones sobre cuáles son los factores que influyen en el hecho de que un estudiante aprenda ciencias y cómo se interrelacionan entre ellos, poniendo en duda creencias simplistas basadas sólo en el ‘escuchar’ y ‘estudiar’.

- En el *cómo enseñar y evaluar* o las concepciones y prácticas sobre qué actividades son las más idóneas, y sobre cómo organizarlas y secuenciarlas a lo largo de un proceso de enseñanza-aprendizaje en función del tiempo, del espacio y de los recursos disponibles.

Como veremos en los apartados siguientes los tres campos están íntimamente interrelacionados y cuando cambian las ideas sobre qué enseñar, se tienen que revisar forzosamente las ideas sobre cómo se cree que los alumnos aprenden y cómo enseñarles.

¿Qué ciencia enseñar?

Una de las decisiones que tienen que tomar los profesores de ciencias se refiere a los contenidos a enseñar. Esta afirmación puede sorprender a muchos, ya que se supone que las administraciones educativas fijan estos contenidos y el profesorado sólo tiene que seguir las orientaciones dadas. También hay la concepción de que los libros de texto ya indican muy claramente qué enseñar y en qué orden, y que para enseñar se debe seguirlos fielmente.

Sin embargo, todas las investigaciones realizadas muestran que el profesorado siempre transforma el currículo, y aquello que enseña realmente tiene más que ver con sus concepciones sobre la ciencia y las finalidades de su enseñanza que con las orientaciones oficiales o los conocimientos didácticos. Por ejemplo:

- Las editoriales plantean sus libros más en función de lo que se ‘vende’ que atendiendo a lo que la investigación didáctica ha validado. Por ejemplo, está comprobado que los libros innovadores se venden mucho menos que los que recogen los contenidos de siempre. Los profesores influyen en las orientaciones que adoptan las editoriales y no tanto al revés.
- Un mismo libro o proyecto es utilizado por el profesorado con visiones de la ciencia muy distintas, que normalmente lo reinterpreta y adapta a su concepción. Si se tiene una visión de la cien-

cia como algo ‘verdadero’ que los alumnos han de reproducir, se utiliza de forma muy distinta a si se tiene una visión de la ciencia evolutiva.

- También está condicionado por la visión que se tiene sobre cómo aprenden los alumnos. Si se piensa que los alumnos aprenden memorizando, se utiliza el libro para estimular la repetición mecanicista. Si se piensa que los alumnos pueden descubrir el conocimiento experimentando, se aplica el libro o el proyecto con esta finalidad aunque los autores lo hayan planteado desde una perspectiva constructivista (Smith y Anderson, 1988).
- También los contenidos que se enseñan están muy condicionados por las finalidades de su enseñanza que se valoren como importantes. Por ejemplo, si se considera que es importante enseñar para aprender a tomar decisiones en relación al medio ambiente, se dará mucha más importancia al estudio de la fotosíntesis o de las redes tróficas que a la descripción y clasificación de los seres vivos. El tiempo que se dedica a cada aprendizaje será muy distinto (Lucas, 1993).
- Tampoco hay que olvidar otros factores, como el grado de conocimiento o de interés personal por determinados temas. No hay duda que si un profesor está interesado o sabe más de pájaros o de mecánica newtoniana, enseñará estos temas con mayor profundidad que otros.

Aun en los países con currículos más cerrados no hay dos clases iguales. Y no se debe olvidar que nuestra profesión tiende a ser muy conservadora y que cuesta mucho introducir cambios y adoptar conocimientos y prácticas innovadoras. Aplicar lo que se ha hecho siempre nos da seguridad, y cualquier cambio es muy costoso en tiempo y estrés personal.

Pero, al mismo tiempo, uno de los aspectos que hacen que la actividad de educar sea interesante es poder innovar, huir de la rutina. Estar al día de la ciencia, pensar cómo conseguir que las nuevas generaciones se apropien de las ideas importantes, imaginar y aplicar nue-

vas maneras de enseñar que respondan a las necesidades de los chicos y chicas de hoy, son ejemplos de retos que hacen que, profesores y profesoras, estemos siempre aprendiendo y, por tanto, seamos creativos. En un mundo que exige que toda la población acceda al conocimiento científico básico, es necesario repensar la ciencia que se enseña y poner en duda que las rutinas continúen siendo válidas.

Antecedentes

Actualmente nadie pone en duda que es muy importante enseñar ciencias a toda la población. Pero esta concepción es muy reciente, ya que la generalización de su estudio se ha dado a lo largo del siglo XX, especialmente después de la Segunda Guerra Mundial. Anteriormente, la enseñanza de la física, de la química o de la biología a alumnos adolescentes estaba muy vinculada a su preparación para acceder a la universidad o a estudios específicos y, por tanto, sólo una minoría muy seleccionada de chicos (y todavía más reducida de chicas) estudiaba estas disciplinas.

Por ejemplo, al inicio del siglo XIX tan sólo se enseñaba ciencias a estudiantes que se formaban en ‘artes mecánicas’, ciencia militar o agricultura. A finales de ese siglo, cuando fueron surgiendo nuevas profesiones que necesitaban conocimientos científicos, su estudio se sistematizó como ‘asignaturas’. La estructura actual de los estudios del área científica, con la separación entre disciplinas de Física, Química y Biología y con unos programas prácticamente homogéneos en todo el mundo, se concibió hacia 1860 en Alemania –país entonces a la cabecera en el campo científico– y se ha mantenido casi sin cambios hasta ahora. No es hasta las reformas curriculares iniciadas un siglo después en Estados Unidos y Gran Bretaña que esta estructura comenzó a replantearse.

Las innovaciones propuestas han sido consecuencia en gran parte del desarrollo económico que ha comportado la necesidad de una mano de obra, tanto de hombres como de mujeres, con más conocimientos. Si bien en un primer momento se creyó que hacía falta for-

mar a los futuros trabajadores en conocimientos técnicos específicos relacionados con profesiones concretas, rápidamente se vio que esta formación tan especializada era poco útil. Actualmente nadie duda de que es necesaria una formación científica que posibilite continuar aprendiendo al cambiar de trabajo.

Pero ésta no es la única razón para enseñar ciencias a toda la población. En una sociedad democrática es importante que las personas tengan conocimientos que permitan comprender, opinar y tomar decisiones en un mundo cada día más complejo y tecnificado. Basta pensar en los temas objeto de debate en la prensa: ‘vacas locas’, ‘uranio empobrecido’, ‘guerra bacteriológica’, alimentos transgénicos, agujero en la capa de ozono, cambio climático, etc. Sin conocimientos científicos es más fácil manipular a las personas y se puede incidir mucho menos en los cambios sociales.

Pero la escuela y los profesores de ciencias todavía no hemos aprendido a dar respuesta a estas nuevas necesidades. En términos generales, se continúa enseñando lo mismo y con la misma estructura disciplinar que a finales del siglo XIX, a pesar de que el número de conocimientos científicos ha aumentado exponencialmente y hay muchos nuevos campos de investigación, a menudo interdisciplinares, como los de las ciencias ambientales, la bioquímica, la electrónica, etc. Es evidente que todo no puede ser enseñado en la escuela y, por tanto, un problema importante que tiene planteada la didáctica de las ciencias es definir criterios de selección de los contenidos a enseñar válidos para el siglo XXI.

Para responder a este problema es importante reflexionar en torno a las finalidades de la enseñanza de las ciencias. Los argumentos los podemos dar en relación a tres perspectivas, que no son ni mucho menos antagónicas:

- a) *La Ciencia vista como un tipo de cultura*
- b) *La Ciencia vista como una forma de razonar, de actuar y de valorar*
- c) *La Ciencia vista como un conocimiento aplicado*

a) *La ciencia es un tipo de cultura*

La ciencia forma parte de la cultura construida por los hombres y las mujeres a lo largo de los siglos. En este sentido es similar a la literatura, la pintura, la música o la historia.

Las diferentes teorías científicas son conquistas humanas y su enseñanza posibilita el acceso de las nuevas generaciones a este tipo de conocimiento. Podríamos pues afirmar que una finalidad de la enseñanza de las ciencias en la escuela es la transmisión de esta cultura o *alfabetización científica*. El conocimiento científico es diferente del conocimiento cotidiano y para acceder a él se necesita un aprendizaje específico que, al menos actualmente, sólo se puede realizar en la escuela.

A menudo, a la enseñanza de las ciencias se le da importancia únicamente en función de su ‘aplicabilidad’. Pero vale la pena no olvidar esta dimensión de conquista de la humanidad que tienen las teorías científicas, como formas de ver y de explicar el mundo, que se han construido con discusiones, experimentos y, también y sobre todo, con imaginación y creatividad.

Pero *cultura científica* no se debería asimilar al mero conocimiento de números y fórmulas. Para este tipo de conocimiento no se necesita la escuela, especialmente en la época actual, que dispone de amplios medios para encontrar la información rápidamente. Para saber el nombre de las partes del tubo digestivo lo mejor es proponer a los alumnos que consulten un CD, de los que reparten los periódicos, porque si alguna vez no recuerda dónde está el páncreas y qué función tiene, lo pueda encontrar fácilmente. Utilizar tiempo de clase para transmitir estos conocimientos (‘explicar’) es perder tiempo que se debería utilizar para otras cosas.

Por cultura científica se tiene que entender más bien el conjunto de modelos y teorías que se conocen actualmente para responder a las preguntas sobre los fenómenos que suceden a nuestro entorno. Para saber justificar por qué los seres vivos necesitan nutrirse o qué utilidad tiene el corazón para la mano, hace falta haber construido un

modelo sistémico de ser vivo, relacionar lo que vemos –por ejemplo, que comemos diferentes tipos de alimentos o movemos la mano– con lo que no vemos –células–. Pero también necesitamos haber construido un modelo sobre qué es esta cosa que denominamos energía (y que obtenemos comiendo) y cómo puede ser que los alimentos se transformen en nuestro cuerpo (modelo de cambio químico).

Los modelos y las teorías son constructos culturales que la ciencia ha ideado para dar sentido a los fenómenos de la naturaleza. Se caracterizan por ser útiles para explicar muchos fenómenos diferentes. Con el concepto de fuerza explicamos cosas tan diversas como la caída de una manzana o el movimiento de los planetas. Pero entender qué es una fuerza necesita la mediación de la escuela. Pocos alumnos se pueden apropiarse de esta idea leyendo un libro o consultando un CD. Sin un adulto experto, las personas sólo son capaces de construir conocimientos denominados de ‘sentido común’ (‘una fuerza es aquello que hace que un objeto se mueva’), que no tienen nada que ver con los conocimientos científicos (aunque pueden ser útiles para resolver los problemas del día a día).

Asimismo conviene preguntarnos si los currículos actuales responden a esta finalidad del aprendizaje de las ciencias. En muy pocos casos se enseña a pensar a través de teorías y se muestran las preguntas o problemas que desencadenaron cambios importantes en las formas de explicar los fenómenos, el contexto social en el que se plantearon o los aspectos que favorecieron nuevas respuestas.

Y es más, también conviene preguntarse si solamente tenemos que enseñar la ciencia ya consolidada, la que no se pone en discusión y de tradición *mecanicista*, o es necesario también enseñar la ciencia *postmoderna* y compleja. Podemos comprobar fácilmente que una de las características de los programas escolares ha sido adecuarse a la enseñanza de la ciencia ‘clásica’. Pero hace falta preguntarse si se puede abordar el estudio de problemas ambientales sin entrar en el mundo de la nueva ciencia y si no es posible pensar en una transposición didáctica de las nuevas teorías como, por ejemplo, de la teoría del caos, que posibilite aproximar al alumnado a su comprensión.

Para muchos esto puede parecer una utopía, y en cambio no nos lo parece el propósito de iniciar a los alumnos jóvenes en el conocimiento de la teoría newtoniana, cuando todos sabemos que entender los *Principia* de Newton es bien difícil. Aun así alguien, en el siglo XIX, ‘inventó’ formas de explicar a jóvenes algunas de las ideas expuestas por Newton en su libro, formas que hoy reproducimos acríticamente. Las mismas ‘leyes de Boyle’ nunca fueron escritas por Boyle, sino que fueron transposiciones didácticas propuestas para enseñar sus ideas (Moreno, 1983).

Acercarse a la ciencia actual implica también diferenciar entre, por un lado, determinismo, orden y estabilidad, concepciones importantes en el marco de la ciencia clásica, y, por el otro, incertidumbre, fluctuaciones e inestabilidad, puntos de vista asociados a la nueva ciencia. O llegar a concebir que las proposiciones-leyes no son ciertas o falsas según se ajusten o no a la realidad sino que ninguna realidad satisface totalmente este tipo de descripciones idealizadas. La nueva ciencia comporta en buena parte reformular aquello que entendemos por cultura científica. Tal como indica Ilya Prigogine en ‘El fin de las certidumbres’ (1997:13),

Asistimos a la emergencia de una ciencia que ya no se limita a situaciones simplificadas, idealizadas, que nos instala frente a la complejidad del mundo real; una ciencia que permite a la creatividad humana vivenciarse como expresión singular de un rasgo fundamental común a todos los niveles de la naturaleza.

La pregunta que nos hacemos es si podemos dejar a la inmensa mayoría de la población totalmente al margen de la nueva ciencia. Una de las líneas de trabajo de la investigación actual en didáctica de las ciencias se centra precisamente en cómo plantear los temas actuales de la ciencia en el contexto del aula.

Al mismo tiempo, la visión de la ciencia actual nos lleva a cuestionarnos si tiene sentido el tradicional debate y separación entre las dos culturas: la humanística y la científica. Más bien parece que cada vez más los profesores tendrán que ser personas con un amplio baga-

je cultural, capaces de establecer puentes entre las diferentes ‘culturas’, entre las diversas formas de mirar e interpretar aquello que sucede, ha sucedido o sucederá en el mundo. Por ejemplo, estudiar un pinar implica llegar a ser capaz de explicar cómo funciona este ecosistema, pero también será importante ser capaz de valorar su importancia económica. Y, ¿por qué no?, comparar la ‘forma de mirar’ este bosque desde la ciencia con la ‘forma de mirar’ de algún poeta. Ser profesor no requiere tanto ser experto en todos los temas, como ser capaz de trabajar en equipos interdisciplinarios con otros profesionales, con mucha más eficiencia que hasta ahora.

b) *La ciencia como forma de razonar, de actuar y de valorar*

La ciencia es una forma de mirar el mundo, de pensar sobre él, de hablar... Cuando una persona afronta el estudio de algún fenómeno ‘científicamente’, tiene que poner en práctica un método, una forma de razonar y unas actitudes. Tiene que plantear hipótesis, argumentar a partir de datos objetivos y teorías, dudar sistemáticamente de las observaciones y de las ideas... También ha de imaginar nuevas formas racionales de explicar los hechos, y buscar cómo comunicar su pensamiento y su acción con la máxima precisión para que aquellas puedan ser contrastadas y discutidas.

Lucas (1993) escribe que, ante la pregunta ‘¿Por qué enseñar ciencias?, una de las respuestas que daría es: “*Asegurarse de que los estudiantes reconocen el valor de los argumentos racionales y del uso de la evidencia*”. Ello implica aprender a cuestionarse las propias ideas y conclusiones, a buscar datos y utilizarlos en la argumentación, poniendo en práctica un conjunto de actitudes como la creatividad, el espíritu crítico, el rigor, la honestidad, la perseverancia, el trabajo en equipo, etc.

Pero paralelamente hace falta tener presente que la racionalidad y todos los valores ‘científicos’ se corresponden con una visión idealizada de la ciencia. Es conocido que, en la práctica, entre investigadores o grupos de investigadores hay más competencia que colabo-

ración, que en algunos casos se han falseado datos y que se acostumbra a defender acríticamente el propio punto de vista. No se debe olvidar que tras un descubrimiento acostumbra a haber ganancias económicas y, muy especialmente, ganancias en prestigio y poder. Por tanto, cuando se habla de actitudes científicas se está haciendo referencia a conductas que la comunidad científica valora como importantes a pesar de que no siempre se apliquen.

Para algunos, la enseñanza de los procesos propios del denominado método científico y de actitudes es el objetivo principal a conseguir en etapas escolares básicas y generalistas. A menudo se piensa que, ante la imposibilidad de enseñar todos los conceptos científicos, lo más importante es aprender a ‘hacer ciencia’, y que si eso se consigue los alumnos podrán aprender automáticamente cualquier concepto o teoría. Pero actualmente sabemos que esta hipótesis no es cierta. Los estudios sobre las concepciones de los estudiantes y el debate en torno a cómo se genera la ciencia muestran que a través de la experimentación tendemos a confirmar nuestras ideas previas. Por tanto, es imposible separar el aprendizaje de los modelos teóricos del de los procedimientos, y es necesario revisar a fondo el papel que le damos a la experimentación en el aprendizaje de las ciencias.

Aun así, nadie se cuestiona que una de las finalidades importantes del aprendizaje de las ciencias es posibilitar que las nuevas generaciones aprendan a pensar y a actuar lo más racionalmente posible. El hecho de que reconozcamos que las ideas de la ciencia no se *descubren* aplicando un *método científico*, no implica dejar de pensar que la ciencia es algo más que teorías: es también una metodología y unos valores asociados, que posibilitan que la cultura científica evolucione.

En la actualidad, con bastante frecuencia los libros de texto y los currículos presentan el conocimiento científico prestando muy poca atención a la dinámica que los generó (Duschl, 1997). Pero sin el conocimiento del contexto de producción de la ciencia los estudiantes construyen una visión de la misma que refuerza sus percepciones iniciales tales como que aquello que dice un científico es una

verdad incuestionable, o que no es importante conocer cómo han cambiado las teorías, sino la versión final, que es la válida.

Esta concepción de la teoría última como la única verdadera comporta que se enseñe una ciencia que no explica nada a la mayoría de los estudiantes. Por ejemplo, muchos de ellos pueden llegar a ser capaces de hablar de hibridación de orbitales sin relacionarlo con ningún problema o pregunta que tenga sentido para ellos. No obstante, tan verdadera es la teoría corpuscular de la materia de base daltoniana como la última teoría elaborada en base a la mecánica cuántica. Todo depende de aquello que se quiera explicar, del problema planteado, es decir, de los hechos a interpretar y de la finalidad de su interpretación. En la clase de ciencias puede parecer prioritario conseguir que el alumnado apruebe exámenes reproductores de textos escritos en libros, pero esto no tiene mucho que ver con aprender ciencias.

Otra de las consecuencias que comporta no aprender el contexto de producción de las ideas es que las clases sean silenciosas, con pocas ocasiones para el debate de las ideas. La argumentación se valora como poco importante ya que al considerar que solamente hay una idea válida, que es la que los estudiantes tienen que aprender a reproducir, no tiene sentido la confrontación entre otros puntos de vista. Sin embargo, en la génesis de las teorías son muy importantes los debates entre científicos. Los congresos y las publicaciones son las plataformas a través de las cuales se confrontan los diferentes planteamientos, los métodos de trabajo y donde se generan nuevas preguntas. Aprender ciencias implica pues aprender a discutir sobre las ideas y a escribirlas (Sanmartí, García e Izquierdo, 2002).

Generalmente tampoco se potencia el desarrollo de la imaginación, de la creatividad o del pensamiento divergente, cualidades que no se asocian al conocimiento científico. Pero no se debería olvidar que las nuevas teorías surgen precisamente de estas cualidades y que, por tanto, las clases de ciencias se tendrían que caracterizar precisamente por la creación de ambientes que posibiliten ‘pensar de forma diferente’ sin que ello se penalice.

c) *La ciencia vista como un conocimiento aplicado*

La ciencia posibilita entender el mundo, hacer predicciones y transformar prácticas. Si compartimos la idea de que la escuela tiene la finalidad de *preparar a los individuos para comprender, opinar e intervenir en su comunidad de manera responsable, justa, solidaria y democrática* (García y Merchán, 1997) la enseñanza de las ciencias es un componente fundamental de esta transformación.

En esta línea, en los últimos años han adquirido mucha importancia los movimientos curriculares que promueven la enseñanza de una *ciencia aplicada o ciencia en la acción*, muy especialmente los vinculados a los currículos Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS) y a la educación en las denominadas temáticas transversales: educación ambiental, para la salud, del consumidor, para la paz, etc.

Al inicio, los currículos CTS nacieron del problema de la falta de motivación de los estudiantes hacia el aprendizaje científico. Este problema es uno de los que más ha preocupado a los países que tienen una optatividad elevada, como es el caso del nuestro después de la reforma educativa de los años 90. En estos lugares se ha comprobado que muy pocos estudiantes optan por asignaturas científicas, especialmente la Química, la Física y las Matemáticas, ya que tienden a escoger materias que creen más fáciles o más motivadoras.

Actualmente, de todas formas, el movimiento CTS no tiene sólo como objetivo conseguir que haya más estudiantes que se interesen por las ciencias, sino también promover que aquello que los alumnos aprendan en la escuela conecte con los problemas cotidianos y sirva para que puedan ser más autónomos en tomar decisiones y más capaces de participar democráticamente en la resolución de los problemas de la sociedad. Es lo que Layton (1992) denomina *conocimiento para la acción*.

Según esta línea de trabajo, los contenidos se tienen que seleccionar no tanto por su valor en relación a la ciencia de los científicos, como por su utilidad para que los estudiantes puedan comprender los

problemas de su entorno y actuar consecuentemente, es decir, por su *relevancia social*. Es por este motivo que se consideran tan importantes, por ejemplo, el estudio de las temáticas relacionadas con la Educación Ambiental y la Educación para la Salud.

Priorizar esta finalidad en el aprendizaje de las ciencias implica revisar todo el currículo, desde la selección de los temas, hasta de los ejemplos, problemas y ejercicios y, muy especialmente, las preguntas de evaluación. Por ejemplo, a pesar de que los contenidos son similares, no se enseña lo mismo ni de igual forma si las preguntas de examen son las tres primeras que si son las siguientes.

- ¿Qué grupos de artrópodos tienen el cefalotórax provisto de quelíceros, pedipalpos y 4 parejas de patas? (12 años).
- Un móvil lleva una aceleración constante de 3 m/s^2 . Si parte del reposo escribe su velocidad al final de los primeros 4 segundos.... (15 años).
- El PCl_5 se disocia en $\text{PCl}_3 + \text{Cl}_2$. La constante de equilibrio es... a... Calcular la concentración de... (18 años).
- Se dice que las arañas colaboran con las personas en la lucha contra los insectos. ¿Cómo lo hacen? ¿Para qué les sirven los quelíceros y los pedipalpos?
- Un amigo que viajaba en moto chocó contra un coche que iba delante. El coche frenó y él no tuvo tiempo de parar. Dicen que fue debido a que iba a demasiada velocidad. Justifica esta afirmación.
- Cuando se sube a un monte alto a menudo aparece el llamado ‘mal de montaña’ (mareo, vómitos y cansancio). Explica por qué se produce y cómo lo soluciona el cuerpo. Recuerda que en la sangre la concentración de oxígeno depende del equilibrio hemoglobina-oxígeno.

Repensar la ciencia que se enseña para que sea relevante socialmente no se puede asimilar a ‘motivar’ más al alumnado (aunque ésta puede ser también una consecuencia de las nuevas propuestas), ni a enseñar una ciencia descriptiva y superficial. Por el contrario, implica enseñar a pensar sobre los fenómenos cotidianos en función de modelos y teorías significativas desde la ciencia actual. Este cambio de perspectiva no es banal.

Tipos de conocimientos que necesita el profesorado

Para dar respuesta a todas estas finalidades de la enseñanza de las ciencias, el profesorado necesita construir conocimientos que le permitan tomar decisiones. Son conocimientos de:

- Epistemología de la Ciencia, para saber identificar las ideas fundamentales que caracterizan cada disciplina científica. Es necesario un conocimiento de tipo general más que particular, reconocer las grandes ideas y cómo han evolucionado a lo largo de la historia (Izquierdo, 2000). Para un profesor es importante saber formular preguntas relevantes, más que dar respuestas ‘verdaderas’.
- Modelos teóricos científicos relacionados con la explicación de fenómenos cotidianos. No se trata tanto de un conocimiento descriptivo y de saber mucho de plásticos, de plantas, de máquinas o de informaciones que se pueden encontrar en Internet o en cualquier libro, sino de disponer de los instrumentos teóricos, experimentales y simbólicos que permitan elaborar dichas explicaciones y analizar críticamente noticias periodísticas y mitos. Tampoco tiene mucho sentido aprender una ciencia unidisciplinar tradicional que no ayude a establecer interrelaciones entre la biología, la física, la química, la tecnología... ni que no recoja los grandes campos de investigación actuales (Sanmartí, 2002).
- Criterios para cuestionar los programas y ejemplos tradicionales que se repiten mecánicamente generación tras generación. Los profesores no sólo han de tener elementos para decidir qué es importante enseñar, sino también para descartar lo que no es imprescindible o para revisar planteamientos rutinarios. Por ejemplo, es discutible el aprendizaje de leyes ponderales para entender los fundamentos de la teoría atómico-molecular (Caamaño, 2002), la presentación ‘inmaculada’ que se hace del principio de Le Chatelier (Demeo, 1992), enseñar a escribir la configuración electrónica de un elemento sin otra finalidad que responder a preguntas en exámenes, o plantear problemas que no conecten con la realidad cercana de los alumnos.

- Procedimientos de trabajo experimental, tanto los clásicos como los relacionados con la aplicación de técnicas actualizadas. También es necesario saber utilizar todo tipo de recursos informáticos, para recoger y transformar datos experimentales, para simular procesos y modelos, para encontrar información... Pero estos procedimientos y técnicas no se han de aprender y enseñar como si fueran recetas de cocina, sino en relación a la resolución de problemas reales y abiertos.
- Ideas alternativas y dificultades de los alumnos y alumnas en el aprendizaje de los diferentes temas de ciencias, así como de los aspectos a tener en cuenta para ayudarles a superarlas. El profesorado ha de estar capacitado para entender la 'lógica' del alumnado y las causas de sus errores.
- Criterios para organizar un programa y seleccionar y secuenciar contenidos y actividades por enseñar, todo de acuerdo con las características del alumnado –su edad, contexto cultural, intereses y actitudes–, los recursos de que se dispone a cada centro, los conocimientos anteriores y dificultades, el tiempo disponible, etc. No hay recetas sobre cómo enseñar un contenido, pero sí que se puede aprender acerca de cómo aumentar las probabilidades de éxito.
- Criterios y recursos para organizar y gestionar un grupo de adolescentes bien diversos, para estimularlos a trabajar individual y colectivamente, para ayudarlos a resolver los conflictos, para despertar su interés hacia la ciencia y para mantenerlo ante las dificultades. Conlleva desarrollar la empatía y la capacidad de seducción y de comunicación. Las clases de ciencias compiten con la discoteca, el centro comercial y la TV, y no hay que decir que no es nada fácil ganarlos.
- Recursos para desarrollar la capacidad de trabajar en equipo con otros profesionales de disciplinas diferentes y de relacionarse con las familias e instituciones del entorno. Ahora más que nunca los resultados de una escuela no son consecuencia de la actuación de un profesor aislado, sino de la de todo un equipo.

La Didáctica de las Ciencias, que se ocupa de profundizar en muchos de estos conocimientos, es una área de investigación joven (no hace más de 40 años que se investiga en este campo) y tiene más problemas planteados que respuestas, pero ya hay un cuerpo de conocimientos (Gil *et al.*, 2000) que hacen posible que un profesor no se vea obligado a ser autodidacta y a redescubrirlo todo (Furió, *et al.*, 1992). Enseñar a los jóvenes del siglo XXI con los contenidos y métodos del siglo XIX no tiene demasiado sentido. Es como plantear el diseño de un nuevo material a partir de los conocimientos y tecnología de hace más de 100 años.

Al mismo tiempo conviene no olvidar que la enseñanza es una profesión en cuyo ejercicio siempre se ponen en práctica valores (o contravalores) ya que, por ejemplo, si se tiene una visión elitista de la Ciencia y de su aprendizaje, difícilmente se podrá promover que *todos* los alumnos construyan conocimientos relevantes. Consecuentemente, la formación de los profesionales que enseñan ciencias no puede obviar la reflexión sobre la ética de las distintas actuaciones.

A modo de conclusión

Debemos preguntarnos si queremos formar jóvenes que, en relación a la ciencia, sean rutinarios, reproductivos, no imaginativos..., o personas creativas, con un pensamiento divergente, estimuladas para continuar aprendiendo... Y, también, si el trabajo de un profesor consiste en transmitir conocimientos científicos ‘verdaderos’ que están contenidos en los libros de texto o más bien en mejorar las teorías de los jóvenes sobre el mundo para que puedan comprenderlo mejor y actuar, transformándolo (Claxton, 1994).

Paralelamente, hemos de preguntarnos si pensamos que la ciencia sólo es para unos pocos alumnos o si estamos de acuerdo con lo que J. P. Segest escribía en el año 1973 en la Revista *Science*, 182: 336:

“La educación científica... es importante tanto para el público en general como para los científicos... En cualquier sociedad madura, la ciencia debería ser una parte integral de la sociedad... ¿Hay algu-

na razón por la que la excitación y la satisfacción que el científico recibe de su investigación del conocimiento no pueda ser compartida por todos? Yo no lo creo... No puedo ver ningún motivo por el que el público en general, si la ciencia ha estado integrada a la educación desde la infancia, no pueda seguir los descubrimientos científicos de forma que este seguimiento sea una actividad placentera, casi con el mismo interés que sigue el fútbol, el tenis, o los campeonatos de ajedrez”.

Interesar a la mayoría de los estudiantes por esta forma de conocimiento que es la ciencia, y conseguir que aprendan, no es tarea fácil. Requiere profesionales con una sólida formación teórico-práctica y con unos valores no siempre acordes con los dominantes. Ya hace muchos años que Aristóteles argumentó que las personas llegan a ser virtuosas no tanto porque se les enseñe o piensen de forma sensata, como porque actúen virtuosamente (Powers, 1990). Siguiendo este razonamiento, será importante que los sistemas de formación del profesorado posibiliten que los que enseñan ciencias utilicen virtuosamente los conocimientos didácticos en sus aulas.

Referencias bibliográficas

- Angulo, F.** (2002). Aprender a enseñar Ciencias. Análisis de una propuesta para la Formación Inicial del Profesorado de Secundaria, basada en la Metacognición. *Tesis Doctoral*. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Baird, J.; Fensham, P.; Gunstone, R.** (1991). “The importance of reflection in Improving Science teaching and learning”. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, (2) 163-182.
- Caamaño, A.** (2002). El currículum de física i Química a l’ensenyament secundari a Catalunya: situació actual i perspectiva de futur. A: Arjona, J. et al. (eds.), *VI Simposi sobre l’Ensenyament de les Ciències de la Natura*, 70-81.
- Chevallard, Y.** (1985). *La transposition didactique*. La Pensée sauvage. Grenoble.
- Claxton, G.** (1994). *Educar mentes curiosas*. Aprendizaje/Visor. Madrid.

- Copello, I.; Sanmartí, N.** (2001). "Fundamentos de un modelo de formación permanente del profesorado de ciencias centrada en la reflexión dialógica sobre las concepciones y las prácticas". *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (2), 269-283.
- Demeo, S.** (1992). An Immaculate Conception: Le Chatelier and Equilibrium. *Proceedings Second Int. Conf. Science & Education*, 227-238. Kingston, Canadá.
- Duschl, R.** (1997). *Renovar la enseñanza de las ciencias*. Ed. Narcea. Madrid.
- Furió, C.; Gil, D.; Pessoa de Carvalho, A. M.; Salcedo, L. E.** (1992). "La formación inicial del profesorado de educación secundaria: papel de las didácticas especiales". *Investigación en la Escuela*, 16, 7-21.
- García, E.; Merchán, F.J.** (1997). "El debate de la interdisciplinariedad en la ESO: el referente metadisciplinar en la determinación del conocimiento escolar". *Investigación en la Escuela*, 32, 5-26.
- García, M.P.; Angulo, F.** (1996). "La autorregulación de los aprendizajes: una estrategia para la formación del profesorado". *Alambique*, 9, 91-100.
- Gil, D.; Carrascosa, J.; Martínez, F.** (2000). "Una disciplina emergente y un campo específico de investigación". En: Perales, F. J.; Cañal, P. (dir.), *Didáctica de las ciencias experimentales* (pp. 11-34). Marfil. Alcoy, Alicante.
- Gunstone, R.** (2000). "The Education of Teachers of Physics: Contents plus Pedagogy plus Reflective Practice". Paper presented at the *PHYTEB 2000. Physics Teacher Education beyond 2000*, Barcelona.
- Gunstone, R.F.; Northfield, J. R.** (1994). "Metacognition and learning to teach". *International Journal of Science Education*, 16 (5), 523-537.
- Hewson, P. W.; Tabachnick, R.; Zeichner, K. M.; Lemberger, J.** (1999). "Educating Prospective Teachers of Biology: Findings, Limitations, and Recommendations". *Science Education*, 83, 373-384.
- Hugo, D; Sanmartí, N.** (en prensa); "Intentando consensuar con futuras profesoras de ciencias los objetos y criterios de su evaluación". *Enseñanza de las Ciencias*.
- Izquierdo, M.** (2000). "Fundamentos epistemológicos". En: Perales, F. J.; Cañal, P. (coord), *Didáctica de las ciencias experimentales*, 35-64. Ed. Marfil. Alcoy.

- Joshua, S.; Dupin, J.J.** (1993). *Introduction à la Didactique des sciences et des mathématiques*. PUF. París.
- Layton, D.** (1992). "Science and technology teacher training and the quest for quality". En: Layton, D. (ed.), *Innovations in Science and Technology Education*. Vol. IV. UNESCO. París.
- Lederman, N. G.; Gess-Newsome, J.; & Latz, M. S.** (1994). "The Nature and Development of Pre-service Science Teachers' Conceptions of Subject Matter and Pedagogy". *Journal of Research in Science Teaching*, 31 (2), 129-146.
- Lucas, A.** (1993). *Diez años de investigación e innovación en enseñanza de las Ciencias*. Ministerio de Educación y Ciencia, CIDE. Madrid.
- Lucio, R.** (2002). La actividad metacognitiva como desencadenante de procesos autorreguladores en las concepciones y prácticas de enseñanza de los profesores de ciencias experimentales. *Tesis Doctoral*. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona.
- Mellado, V.; González, T.** (2000). "La formación inicial del profesorado de ciencias". En: Perales, F. J.; Cañal, P. (dir.), *Didáctica de las ciencias experimentales*, 535-555. Marfil. Alcoy, Alicante.
- Porlán, R.; Rivero, A.** (1998). *El conocimiento de los profesores*. Díada. Sevilla.
- Powers, C.N.** (1990). "Policy Issues in Science Education: An International Perspective". En: Jenkins, E.W (ed.), *Policy issues and school science education*, 1-17. The Univ. of Leeds, Leeds.
- Sanmartí, N.** (2000). "Aprender una nueva manera de pensar y de aplicar la evaluación: Un reto en la Formación Inicial del Profesorado". *Simpósio sobre la Formación Inicial de los Profesionales de la Educación*. Publ. Univ. Girona. Girona, 32, 345.
- Sanmartí, N.** (2001). "Enseñar a Enseñar Ciencias en Secundaria: Un reto muy complejo". *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 40, 31-48.
- Sanmartí, N.; Garcia, M.P.; Izquierdo, M.** (2002). "Aprender ciencias aprendiendo a escribir ciencias". *Aspectos didácticos de las Ciencias de la Naturaleza*, 8. ICE de la U. de Zaragoza.
- Smith, E.; Anderson, Ch.** (1988). "Las plantas como productores: un estudio de caso en la enseñanza elemental de las ciencias". En: Porlan, R. et al. (eds.), *Constructivismo y Enseñanza de las Ciencias*. Díada. Sevilla.